

УДК 556.124.389.163.551.435.287:556.013(574.235.221)

РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА ЛЕДНИКОВ ПО ВЫСОТЕ И ОРИЕНТАЦИИ ГОРНЫХ СКЛОНОВ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА Р. КАРАТАЛ)

С. А. Ерисковский

Предлагается способ расчета распределения объема ледников в речном бассейне по высотным зонам и ориентации горных склонов при ограниченности исходной информации, апробированный на примере бассейна р. Каратал. Погрешность рассчитанного суммарного объема ледников от определенного по данным геофизических исследований составляет 2,7 %.

Как известно, горные ледники на территории Республики Казахстан в настоящее время находятся в состоянии деградации и распада. В связи с этим возникает необходимость в отслеживании данного процесса. Для решения этой задачи в первую очередь необходимы сведения о распределении площади и объема ледников по высотным зонам и ориентации горных склонов. Площади открытой части ледников являются наиболее доступными для измерений и их достаточно детальные характеристики приводятся в справочных изданиях [2] и материалах Института географии. Данные о распределении объема ледников северного склона Джунгарского Алатау в пределах отдельных высотных зон отсутствуют. Имеются сведения только об общем объеме ледников.

Цель предлагаемого способа расчета заключается в получении характеристик распределения объема ледников по высотным зонам и ориентации горных склонов, а также установлении их зависимости от площади в пределах отдельных высотных зон. Исходными данными для решения этой задачи являются сведения о распределении площади ледников по высотным зонам и об их общей ориентации. Для определения параметров схемы расчета необходимы значения максимальной толщины, объема и площади характерных ледников, полученные по материалам геофизических измерений. Сведения о площади ледников, как от-

мечалось выше, приводятся в работах [2] и их объем может быть рассчитан [7, 8] по зависимости

$$W = a S^n, \quad (1)$$

где W - объем ледника, S - его площадь, a и n - параметры.

Для определения объема льда любого ледника в пределах отдельной высотной зоны (W_i) необходимо располагать сведениями о площади (S_i) и толщине (h_i). По результатам анализа размеров некоторых ледников Джунгарского Алатау установлено, что середине высотной зоны с наибольшей площадью соответствует толщина льда (h), определяемая из следующего соотношения:

$$h_{\max}/h \approx h/h_{\text{ср}}, \quad (2)$$

откуда

$$h/h_{\text{ср}} \approx (h_{\max}/h_{\text{ср}})^{0,5}, \quad (3)$$

где h_{\max} - максимальная толщина ледника, $h_{\text{ср}} = W/S$ - его средняя толщина.

Используя зависимость (3), можно рассчитать среднеарифметическое значение отношений $h/h_{\text{ср}}$ для группы характерных наиболее изученных ледников. В дальнейшем, по аналогии, это отношение принимается для слабоизученных ледников. Средняя толщина ($h_{\text{ср}}$) каждого из них находится по зависимости (1) и из принятого отношения $h/h_{\text{ср}}$ определяется искомое значение h . Затем рассчитываются толщины ледника h_i в каждой его i -ой зоне с учетом линейного убывания их значений. После этого вычисляются объемы W_i , которые суммируются по всем зонам ледника и полученная сумма сравнивается с объемом, рассчитанным по (1). В результате определяется погрешность расчетов (δ), которая устраняется распределением ее величины по зонам ледника пропорционально объемам льда W_i . Далее для каждой ориентации по всем высотным зонам производится суммирование площадей и объемов ледников. Для установления связей суммарного объема

ледников (W) с суммарной площадью (S) в каждой высотной зоне их вид принимается аналогично формуле (1). Если представить эту формулу в логарифмическом виде :

$$\ln W = a + n \ln S \quad (4)$$

и воспользоваться, например, рекомендациями [1, 4], то можно найти искомые связи и оценить их. Параметры a и n определяются путем использования метода наименьших квадратов. Обычно показатель степени $n > 1$. В некоторых случаях может оказаться, что $n < 1$. Это, по-видимому, объясняется недостатком данных, поскольку, исходя из формы ледников и их отдельных частей, значения $n < 1$ маловероятны. Поэтому при возникновении такой ситуации принимается $n = 1$, т.е. связи объема ледников с их площадью считаются линейными.

В качестве примера использования способа произведен расчет распределения объема ледников по высотным зонам (через 80 м) в бассейне р. Каратал. Для этого бассейна были приняты связи, полученные П. А. Черкасовым и его коллегами на основе данных геофизических измерений [3, 5, 6, 7, 8]:

$$W = 29,760 \cdot 10^{-3} S^{1,379} \quad (5)$$

$$W = 49,369 \cdot 10^{-3} S^{1,202} \quad (6)$$

$$W = 21,797 \cdot 10^{-3} S^{1,124} \quad (7)$$

где S - площадь ледника - км², W - объем ледника - км³.

Эти связи характеризуют соответственно первую, вторую и третью группы морфологических типов ледников (основных долин, висячих долин и каров, висячих ледников) [3, 5, 6].

Расчет производился по данным аэрофотосъемки 1956 года для всех 358 ледников, имеющих в бассейне [2]. Суммарная их площадь 200,7 км². Ориентация определялась по каталогу [2] или по графику распределения площади ледников Джунгарского Алатау в зависимости от экспозиции [6].

Для первой и второй групп ледников среднеарифметическое отношение h/h_{cp} , рассчитанное автором настоящей статьи по данным,

Для первой и второй групп ледников среднеарифметическое отношение $h/h_{\text{ср}}$, рассчитанное автором настоящей статьи по данным, приведенным в работе [3], соответственно равно 1,67 и 1,48. Для третьей группы ледников, в связи с их небольшими размерами, $h/h_{\text{ср}}$ принято равным 1,1, т.е. близким к единице. Рассчитанный, согласно изложенному способу, суммарный объем ледников равен $9,23 \text{ км}^3$. Это значение близко к объему, полученному с помощью формул (5 - 7) и по данным радиолокационных и сейсмических измерений [3], равному $8,99 \text{ км}^3$. Погрешность расчетов (δ_0), составляющая 2,7 %, устранялась путем ее распределения пропорционально объемам льда в высотных зонах для каждого ледника. Рассчитанное распределение площади и объема ледников по ориентации и высотным зонам для бассейна р. Каратал представлено в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Распределение площади открытой части ледников
в бассейне р. Каратал, км^2

Высота, км	Ориентация склонов								Сум- ма
	С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ	В	СВ	
4,20-4,12	0,010								0,01
4,12-4,04	0,080	0,010	0,010			0,010	0,080		0,19
4,04-3,96	0,240	0,160	0,020			0,040	0,140	0,010	0,61
3,96-3,88	0,850	0,340	0,060			0,200	0,220	0,110	1,78
3,88-3,80	1,860	0,936	0,091	0,010	0,001	0,421	0,632	0,386	4,34
3,80-3,72	3,951	1,905	0,253	0,071	0,002	0,902	1,166	1,216	9,47
3,72-3,64	6,366	3,099	0,403	0,364	0,007	1,380	1,753	3,164	16,54
3,64-3,56	11,095	3,581	0,410	0,746	0,011	2,205	2,516	5,139	25,70
3,56-3,48	16,436	4,460	0,391	1,097	0,053	1,586	3,719	6,209	33,95
3,48-3,40	15,582	4,284	0,171	0,666	0,042	0,786	2,267	5,472	29,27
3,40-3,32	18,838	4,437	0,056	0,365	0,040	0,732	1,800	5,264	31,53
3,32-3,24	15,565	2,233	0,012	0,025	0,006	0,369	1,150	3,816	23,17
3,24-3,16	10,039	1,321	0,012	0,004	0,005	0,008	0,451	2,165	14,00
3,16-3,08	5,486	0,615	0,012	0,003	0,006	0,008	0,112	0,869	7,11
3,08-3,00	1,371	0,219	0,004	0,001	0,002	0,003	0,038	0,331	1,97
3,00-2,92	0,580	0,110	0,002	0,000	0,000	0,002	0,044	0,130	0,87
2,92-2,84	0,102	0,006	0,001			0,001	0,013	0,076	0,20
Сумма	108,450	27,712	1,908	3,351	0,179	8,652	16,096	34,358	200,71

Таблица 2

Распределение объема ледников в бассейне р. Каратал, 10^{-3} км³

Высота, км	Ориентация склонов								Сум- ма
	С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ	В	СВ	
4,20-4,12	0,04								0,04
4,12-4,04	0,74	0,04	0,06			0,03	0,44		1,31
4,04-3,96	2,29	1,85	0,36			0,27	1,80	0,06	6,63
3,96-3,88	13,02	3,96	1,78			2,49	3,71	0,88	25,84
3,88-3,80	40,22	18,03	3,07	0,05	0,00	8,56	13,22	6,58	89,73
3,80-3,72	113,17	58,57	8,89	1,12	0,02	26,80	38,77	33,13	280,47
3,72-3,64	227,75	114,96	19,01	9,76	0,13	51,49	78,21	106,77	608,08
3,64-3,56	487,40	137,84	13,27	35,21	0,18	107,97	114,97	227,02	1123,86
3,56-3,48	840,32	193,30	17,91	54,46	1,87	62,01	200,00	299,60	1669,47
3,48-3,40	790,46	209,16	4,36	23,68	1,25	38,20	92,09	259,12	1418,32
3,40-3,32	1088,96	224,82	0,73	8,09	0,50	46,53	73,03	247,59	1690,25
3,32-3,24	818,13	99,48	0,13	0,21	0,08	8,65	34,75	180,72	1142,15
3,24-3,16	470,12	51,53	0,15	0,04	0,08	0,11	10,60	83,29	615,92
3,16-3,08	192,37	16,86	0,18	0,05	0,10	0,14	1,19	25,21	236,10
3,08-3,00	38,02	10,40	0,07	0,02	0,04	0,05	0,64	8,68	57,92
3,00-2,92	13,82	2,43	0,03	0,01	0,02	0,02	1,76	2,21	20,30
2,92-2,84	1,03	0,06	0,01			0,01	0,19	0,54	1,84
Сумма	5137,91	1143,24	70,05	132,72	4,28	353,34	665,31	1481,39	8988,24

Установление связей суммарного объема ледников с их суммарной площадью в каждой высотной зоне производится на основе расчетных характеристик для каждого ледника. При этом для высотных зон 2,84 - 2,92, 2,92 - 3,00 и расположенных выше 3,96 км связи приняты линейными. Далее, в полученных связях производилось уточнение параметра a путем согласования объема и площади при известном значении параметра n . Окончательные значения параметров связей приведены в табл. 3. Результаты оценки связей также представлены в табл. 3. Они свидетельствуют о возможности практического использования установленных связей.

Таблица 3

Параметры a и n в уравнении $W=a S^n$ для отдельных высотных зон бассейна р. Каратал и оценка полученных связей

Высота, км	Параметр		Оценка связей				
	a	n	ρ	σ_ρ	σ	S_0	S_0/σ
4,20-4,12	0,00400	1,00					
4,12-4,04	0,00684	1,00					
4,04-3,96	0,0108	1,00					
3,96-3,88	0,0127	1,23	0,98	0,03	0,01	0,00	0,19
3,88-3,80	0,0171	1,13	1,00	0,00	0,04	0,00	0,07
3,80-3,72	0,0207	1,16	0,99	0,01	0,11	0,02	0,14
3,72-3,64	0,0311	1,06	1,00	0,00	0,23	0,01	0,06
3,64-3,56	0,0214	1,22	0,92	0,06	0,39	0,15	0,39
3,56-3,48	0,0300	1,14	0,97	0,02	0,53	0,12	0,23
3,48-3,40	0,0334	1,11	0,98	0,02	0,43	0,09	0,21
3,40-3,32	0,0421	1,07	0,98	0,02	0,52	0,12	0,22
3,32-3,24	0,0308	1,15	0,98	0,02	0,37	0,08	0,37
3,24-3,16	0,0329	1,11	0,99	0,01	0,21	0,03	0,14
3,16-3,08	0,0284	1,08	0,99	0,01	0,08	0,01	0,13
3,08-3,00	0,0255	1,21	0,99	0,01	0,02	0,00	0,17
3,00-2,92	0,0233	1,00					
2,92-2,84	0,00950	1,00					
4,20-2,84	0,0382	1,03	1,00	0,00	3,07	0,24	0,08

В таблице 3 объем ледников (W) выражен в км^3 , площадь открытой части ледников (S) - в км^2 ; ρ - корреляционное отношение; σ_ρ - средняя квадратическая ошибка корреляционного отношения; σ - среднее квадратическое отклонение функции от ее среднего арифметического значения, км^3 ; S_0 - средняя квадратическая погрешность проверочных расчетов, км^3 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бэфани Н. Ф., Калинин Г. П. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам. - Л.: Гидрометеиздат, -

1983. - 390 с.
2. Каталог ледников СССР. - Т. 13. - Центральный и Южный Казахстан. - Вып. 2. - Бассейн озера Балхаш. - Ч. 5. - Бассейн реки Каратала. Дополнительные сведения о моренном покрове на ледниках Казахской ССР. - Л.: Гидрометеиздат, 1980, - 100 с.
 3. Мачерет Ю. А., Черкасов П. А., Боброва Л. И. Толщина и объем ледников Джунгарского Алатау по данным аэрозондирования // Материалы гляциологических исследований. - 1988. - Вып. 62. - С. 59 - 71.
 4. Рождественский В. А. Чеботарев А. И. Статистические методы в гидрологии. - Л.: Гидрометеиздат, 1974. - 424 с.
 5. Черкасов П. А. Расчет составляющих водно-ледового баланса внутриконтинентальной ледниковой системы на примере Джунгарского Алатау // Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук. - Алма-Ата, 1991. - 467 с.
 6. Черкасов П. А. Роль мониторинга горных ледниковых систем в оценке экологического и природно-ресурсного потенциала Казахстана // Гидрометеорология и экология. - 1997. - № 3. - С. 176 - 186.
 7. Driedger C. L., Kennard P. M. Glacier volume estimation on Cascade volcanoes: an analysis and comparison with other methods // Annals of Glaciology. - 1986. - Vol. 8. - P. 59-64.
 8. Driedger C. L., Kennard P. M. The volumes on Cascade volcanoes: Mount Rainier, Mount Hood, Three Sisters and Mount Shasta // U.S. Geol. Sei. Profess. Pap. - 1987. - № 1365. - P. 1-28.

Казахский научно-исследовательский институт
мониторинга окружающей среды и климата